



THE UNIVERSITY OF
TENNESSEE
KNOXVILLE

О Т З Ы В

на диссертационную работу Белова Владимира Александровича "Исследование космогенных источников фона в эксперименте EXO-200", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

от Камышкова Юрия Алексеевича, профессора департамента физики университета штата Теннесси, Ноксвилл, Теннесси, США, 401 Nielsen Bldg., 1408 Circle Drive, TN 37996-1200, e-mail kamyshkov@utk.edu, тел +1 (865) 974-6777.

Диссертация В. Белова описывает вклад автора в EXO-200, один из наиболее сложных и важных экспериментов в современной физике частиц: поиск безнейтринного двойного β -распада ($2\beta 0\nu$). Обнаружение такого распада стало бы великим открытием для физики и космологии; оно указало бы на Майорановскую природу нейтрино и было бы демонстрацией нарушения лептонного числа $\Delta L=2$ которое, как компонента нового взаимодействия нарушающего ($B-L$), является необходимым для понимания механизма барионной асимметрии вселенной. Энергетическая шкала физики ответственной за $2\beta 0\nu$ лежит за пределами энергий доступных на LHC, поэтому эти исследования по праву принадлежат физике высоких энергий.

Весьма редкий безнейтринный двойной β -распад ($2\beta 0\nu$) в эксперименте должен проявить себя как моноэнергетическая линия с детекторным разрешением. Для Xe-136, используемого в EXO-200 как рабочее вещество детектора, эта энергия составляет 2458 кэВ. При отсутствии в детекторе фоновых событий, один зарегистрированный $2\beta 0\nu$ – распад мог бы означать открытие. К сожалению, избавиться от фоновых событий не удается даже в очень тщательно построенных детекторах из-за фона создаваемого космогенными источниками; главным образом, из-за нейтронов и фотонов порожденных в подземных экспериментах высоко-энергичными мюонами и нейтрино. Таким образом, величина фона, понимание его происхождения, и возможность точного

Department of Physics and Astronomy
401 Nielsen Physics Building, Knoxville, TN 37996-1200
865-974-3342 865-974-7843 fax www.phys.utk.edu

BIG ORANGE. BIG IDEAS.

Flagship Campus of the University of Tennessee System utk.edu

определения, являются критическими факторами для детектирования редких событий, которые определяют чувствительность детектора. Именно этим чрезвычайно важным для эксперимента вопросам и посвящена данная диссертация.

Несомненно, существенным личным вкладом автора в EXO-200 эксперимент является оригинальная методика анализа фоновых событий порожденных мюонами высокой энергии в подземной установке. Эта методика тщательно описана в диссертации, отражена в выступлениях автора, а также в публикациях автора в авторитетных журналах. Новым и сложным в работе по данной теме является необходимость рассмотрения большого количества радиоактивных изотопов и цепочек изотопов, а также нейтронов, генерируемых космическими мюонами высоких энергий в процессе взаимодействия с ядрами в установке. Следует также признать удачным использование диссертантом сравнения результатов программ GEANT4 и FLUKA при генерации фоновых продуктов высоко-энергетичными мюонами, т.к. это позволило оценить систематическую точность симуляции фоновых процессов. Развитая автором методика позволила эффективно и систематически справиться с проблемой космогенного фона и классифицировать вклады различных изотопов в EXO-200 установке. Такая методика может быть в принципе использована и расширена для других конкурирующих установок. В этом смысле значение диссертации для мирового исследовательского сообщества могло бы быть более ценным если бы диссертация была написана по-английски. Также хочется отметить надежность и ценность для эксперимента измерения скоростей активации рабочей среды полученных автором путем анализа радиационных захватов для нескольких изотопов.

Отмечая высокий уровень проделанной диссидентом работы и в целом, высокий профессиональный уровень текста диссертации, полностью соответствующей мировым стандартам, хотелось бы сделать несколько замечаний. Мне кажется, что сравнение и анализ конкурирующих экспериментов и методик, основанных на Xe-136 и Ge-76, мог бы быть в диссертации более полным, тем более что некоторые из конкурирующих экспериментов в настоящий момент имеют сравнимые с (GERDA) или лучшие пределы (KamLAND-Zen) чем EXO-200. Такое сравнение позволило бы лучше понять перспективы и трудности всей проблемы поиска $2\beta 0\nu$ распада в целом. Так, при кратком упоминании результата KamLAND-Zen эксперимента диссидент замечает, что "к этому результату сохраняется ряд вопросов". Мне

Department of Physics and Astronomy
401 Nielsen Physics Building, Knoxville, TN 37996-1200
865-974-3342 865-974-7843 fax www.phys.utk.edu

BIG ORANGE. BIG IDEAS.

Flagship Campus of the University of Tennessee System 

кажется было бы правильным сформулировать эти вопросы и провести сравнение с тем как те же вопросы разрешены в EXO-200 эксперименте.

Для анализа присутствия сигнала от $2\beta 0\nu$ - событий в эксперименте используется процедура фитирования измеренных энергетических спектров с моделируемыми спектрами различных вкладов и PDF функциями задающими возможную вариацию вкладов от различных источников сигналов, включающих искомый эффект а также все возможные источники фона. Определение вклада и соответствующей вариации инициированного космическими мюонами распада Xe-137 является важным достижением автора, которое позволило улучшить предел на $2\beta 0\nu$ события. В балансе наиболее существенных фонов используемых в процедуре фитирования в области ROI, т.е. области ожидаемого $2\beta 0\nu$ эффекта, вклад космогенного Xe-137 составляет 7.0 событий, хотя доминирующим фоном являются события от радиоактивного загрязнения детектора радио-изотопами Th-232 (16.0 событий) и U-238 (8.1 событий). К сожалению, диссертация не содержит подробного анализа источников вкладов радиоактивных загрязнений детектора, методов подавления этих источников, и анализа перспектив их уменьшения в предлагаемом будущем детекторе EXO-5000.

Возможно мои пожелания изложенные выше значительно увеличили бы объём диссертации, однако более подробное изложение упомянутых выше вопросов представляется целесообразным. В целом, диссертация и диссертант, по моему мнению, внесли существенный вклад в развитие физики низкофоновых измерений и являются полностью заслуживающими присвоения В. А. Белову звания кандидата физико-математических наук. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

26.11.2018

Ю. А. Камышков, профессор
департамент физики университета штата Теннесси,
Ноксвилл, Теннесси, США,

Department of Physics and Astronomy
401 Nielsen Physics Building, Knoxville, TN 37996-1200
865-974-3342 865-974-7843 fax www.phys.utk.edu

BIG ORANGE. BIG IDEAS.
Flagship Campus of the University of Tennessee System